图书情报工作
第63卷 第2期 2019年1月

数字内容产品版权保护的演化博弈分析*

■ 赵艳[1] 王文举[2] 倪渊[3,4]

[1] 首都经济贸易大学经济学院 北京 100070 [2]北京物资学院经济学院 北京 101149

[3] 北京信息科技大学经济管理学院 北京 100192 [4]绿色发展大数据决策北京市重点实验室 北京 100192

摘要：［目的/意义］基于版权保护的演化博弈分析，有助于探究数字内容产品的原创主体对仿冒行为是否具有容忍度，以及不同仿冒水平下实施版权保护的策略选择，对规范数字内容产品市场主体行为具有一定指导意义。［方法/过程］首先借助演化博弈模型，分析原创主体与仿冒主体的利益演化过程，探究版权保护下原创主体对仿冒水平的容忍行为；然后通过细化博弈双方的利润函数模型，探究原创主体容忍度水平的决定因素。［结果/结论］原创主体对较小的仿冒水平存在一定的容忍度，对较高的仿冒水平零容忍。最大仿冒水平容忍度由仿冒交叉收益系数、收益模型常系数、产品研发成本系数和原创主体的产品研发努力水平倍数4个因素共同决定。

关键词：数字内容产品 版权保护 仿冒水平容忍度 演化博弈

分类号：G201 F224.32

DOI：10.13266/j.issn.0252-3116.2019.02.005

1 引言

数字内容产品是一种以创意为核心，以数字为载体的新型产品形态[1]，它是指所有者拥有的，诸如视音频节目（素材）、图片、文稿及商业数据等各类以数字化形式存储的版权明晰的内容资源，大多具有极高的社会价值和商业价值[2]。随着信息技术革命在世界范围的掀起，中国的数字产业化飞速发展。2016年我国数字出版产业整体收入达5 720亿元，较2015年同比增长29.9%。其中，数字阅读内容总量增长率达到88.2%，说明庞大的数字内容消费市场正在形成。由于数字内容产品具有易复制、易传播的特点，借助计算机技术的应用，高质量的盗版数字内容产品极易制作，由此导致数字内容盗版行为猖獗，每年给全球经济造成数十亿美元的损失[3]。因此，如何规范数字内容产品市场主体行为，保障数字内容产品质量，成为新时代网络平台服务经济环境下重点研究的课题。

版权保护制度是约束盗版行为、维护产权所有者合法权益的有力武器。对数字内容产品实施版权保护，是实现创新发展的必然要求。关于数字内容产品的研究，学术界重点关注在版权保护方面，主要从技术手段和法律手段两个方面进行论证：①在技术手段方面，主要集中在专利技术的描述和应用。J. M. Acken[4]、于广州[5]和L. H. Zhang等[6]提出了一种基于水印的版权管理方案，通过在数字内容产品中加入水印，可以有效抵制盗版行为，保护内容版权；T. Bause & S. Ng[7]提出了一种多通道嵌入式数据技术，该技术允许将数据（如水印）嵌入到数字内容产品中，以提供更加复杂的编码和解码装置；Y. T. Chia[8]提出通过分布式网络中运行的数字内容管理系统，内容发行者可以形成加密数字内容来保护版权；M. S. Wang[9]和C. Y. Chou等[10]提出在数字内容和权利对象管理系统中，可以通过使用安全数据存储系统的不可复制数据存储磁盘来保护数字内容；M. S. Chang等[11]提出用户设备可以通过划分安全模式和正常模式并执行设备认证来增强数字内容的保护等级。②在法律手段方面，主要涉及对版权保护机制的讨论。熊励等[12]从使用者方面考虑了版权管理问题，发现使用者侵权行为仅依靠技术手段难以杜绝，还应借助一定的法律手段；K. J.

* 本文系国家重点研发计划项目“服务价值与文化传播评估理论与技术”（项目编号：2017YFB1400400）和勤信英才项目（项目编号：QXTCPC201706）研究成果之一。

作者简介：赵艳（ORCID：0000-0003-0801-7782），博士研究生；王文举（ORCID：0000-0002-9581-9435），校长，教授，博士生导师，通讯作者，E-mail：wangwenju@bwu.edu.cn；倪渊（ORCID：0000-0001-7910-2218），副教授，博士。

收稿日期：2018-07-15 修回日期：2018-09-08 本文起止页码：43-51 本文责任编辑：徐健

Park[13]通过分析收益函数，发现货币激励是非法复制行为的主要原因，货币和心理效用对非法复制的态度和行为具有正向的影响作用，因此应依靠版权保护机制降低非法复制者的货币收益；L. Guo& X. Meng[14]通过研究版权保护对消费者搜索成本的影响，发现更严格的版权保护机制可以诱使消费者产生较低的事后盈余预期，从而降低消费者搜索盗版产品的积极性；张旭梅等[15]通过两阶段博弈分析，发现当仿冒水平较高时，政府可以通过实施严格的版权保护制度约束盗版行为。

以上文献分别从技术手段和法律手段两方面研究了数字内容产品的版权保护问题，技术手段侧重专利应用，未能从全局考虑成本收益问题，法律手段侧重理论探讨，未能有有效数据验证理论模型。本文则同时考虑了二者的重要作用，将专利技术的应用内化为使用主体的成本，重点探讨版权保护制度的实施与否问题。通过构建数字内容产品原创主体和仿冒主体的演化博弈模型，深入分析原创主体如何根据仿冒水平适时地实施版权保护，在探究版权保护下原创主体对仿冒水平的容忍行为后，运用细化的利润函数模型，进一步分析该容忍度水平的决定因素。以上过程均通过数值仿真验证理论模型和结论的有效性。

2 原创主体与仿冒主体的演化博弈模型

演化博弈不同于传统的博弈理论，其源于生物进化论的思想，博弈群体以有限理性代替完全理性，会根据每一次博弈的结果选择下一次的博弈策略，比如本次博弈收益较小甚至为负，则下次博弈便会选择收益更大的策略，最终通过个体学习和群体间的相互影响，使某个群体趋于选择同一种策略，实现系统均衡[16]。因此，采用演化博弈能够准确地描述策略选择的发展变化，正适合于研究数字内容产品市场的主体行为。

2.1 演化博弈模型的建立及基本假设

博弈的双方分别为数字内容产品原创主体和仿冒主体，由于博弈双方均为有限理性的“经济人”，博弈过程中的信息不对称，使得双方在做出决策选择时具有很大的不确定性。原创主体作为数字内容产品开发、生产和传播的关键角色，一方面要对产品的质量严格把关，另一方面又要关注产品收益。关于是否实施版权保护制度，原创主体具有两个策略选择：①发现仿冒行为时申请版权保护，且假设一经维权便会成功（简称“维权”）；②放纵仿冒行为，不申请版权保护（简称“不维权”），这里同时考虑了原创主体对仿冒行为的完全忽视，以及为扩大产品宣传有意容忍的低仿冒水平。而仿冒主体作为市场经济活动中的投机者，可能会为牟取暴利铤而走险，通过仿冒原创主体的产品，进行非法销售和传播，也可能畏于法律的严惩不敢从事仿冒行为。因此，仿冒主体也具有两个策略选择：①仿冒原创主体的数字内容产品，获取非法收益（简称“仿冒”）；②畏惧承担法律责任，不从事仿冒行为（简称“不仿冒”）。在该博弈中，政府为追究违法行为的法律部门，对原创主体申诉的仿冒行为进行公正和判决，由于我国版权保护制度尚处于不断发展和完善的阶段，版权保护存在“民不告官不究”的现状，因此这里不考虑政府直接参与博弈的利益得失，博弈主体仅考虑原创主体和仿冒主体两个群体。则两博弈群体基于版权保护的演化博弈策略组合如表1所示：

表1 原创主体和仿冒主体基于版权保护的策略组合

原创主体	仿冒主体	
	仿冒	不仿冒
维权	（维权，仿冒）	（维权，不仿冒）
不维权	（不维权，仿冒）	（不维权，不仿冒）

模型的基本假设：

（1）博弈的一方主体——原创主体，指从事数字内容产品行业的所有组织和个人。原创主体会采取版权保护制度来维护数字内容资产价值，但在产品上市的初期，原创主体为尽快提高产品的认知范围，可能会稍微放松版权保护制度，同时考虑到监管和维权的成本问题，很难完全追究每一个仿冒行为。因此，在本模型中，假设原创主体群体存在一定概率来实施版权保护制度。

（2）博弈的另一方主体——仿冒主体，指经济活动中的投机者，通过仿造、抄袭、盗版等手段生产、销售和传播版权归属明确的数字内容产品，以获取非法收益。面对巨大的利润诱惑，仿冒主体可能会为牟取暴利从事非法经营活动，可能又畏惧严厉的法律制裁，包括罚金、刑法等，而放弃仿冒行为。基于有限理性的“经济人”假设，仿冒主体会根据原创主体的版权保护制度实施情况采取相应的决策。因此，在本模型中，仿冒主体群体也存在一定概率采取仿冒行为。

（3）原创主体有两个策略选择，即“维权”和“不维权”。仿冒主体也有两个策略选择，即“仿冒”和“不仿冒”。

对原创主体的成本和收益做以下解释：原创主体研发数字内容产品的成本为 C_0，主要包括内容产品的制作成本以及智力资本投资等；原创主体的产品收益

为 R_O，主要指数字内容产品传播过程中获取的收益。数字内容产品推广过程中的成本忽略不计；原创主体对仿冒行为的监管与维权相关成本为 C_S，包括需要耗费的人力、物力、财力等；通过成功维权，获取仿冒主体的赔偿收益为 R_S。

对仿冒主体的成本和收益做以下解释：仿冒主体非法使用原创主体版权，仿造原创主体数字内容产品的制造成本为 C_F；仿冒主体的产品收益为 R_F，假设消费者对仿冒产品没有辨识度和特殊偏好；仿冒行为被发现并被追究责任时需要承担的赔偿损失为 R_S。这里不考虑政府方面的处罚情况。由此可得原创主体与仿冒主体的收益矩阵如表2所示：

表2　原创主体与仿冒主体的收益矩阵

原创主体	仿冒主体	
	仿冒	不仿冒
维权	$(R_O-C_O+R_S-C_S, R_F-C_F-R_S)$	$(R_O-C_O-C_S, 0)$
不维权	(R_O-C_O, R_F-C_F)	$(R_O-C_O, 0)$

2.2 原创主体与仿冒主体演化博弈的均衡分析

2.2.1 原创主体与仿冒主体演化过程的得益分析　在演化博弈过程中，假设博弈双方的策略选择随机独立，且互不干扰，并可以同时重复地进行博弈。在初始阶段，假设原创主体选择“维权”的比例为 α，选择“不维权”的比例为 $1-\alpha$；仿冒主体选择“仿冒”的比例为 β，选择“不仿冒”的比例为 $1-\beta$。原创主体“维权”与“不维权”的期望得益和群体平均得益分别为 U_{10}，U_{20}，$\overline{U_O}$，则：

对原创主体而言，采用“维权”策略的适应度为：

$$U_{10}=\beta[R_O-C_O+R_S-C_S]+(1-\beta)[R_O-C_O-C_S]=\beta R_S+R_O-C_O-C_S \quad \text{公式(1)}$$

采用“不维权”策略的适应度为：

$$U_{20}=\beta(R_O-C_O)+(1-\beta)(R_O-C_O)=R_O-C_O \quad \text{公式(2)}$$

平均适应度为：

$$\overline{U_O}=\alpha U_{10}+(1-\alpha)U_{20}=\alpha\beta R_S-\alpha C_S+R_O-C_O \quad \text{公式(3)}$$

仿冒主体采取“仿冒”策略与“不仿冒”策略以及群体平均得益分别为：U_{1F}，U_{2F}，$\overline{U_F}$，则：

对仿冒主体而言，采用“仿冒”策略的适应度为：

$$U_{1F}=\alpha[R_F-C_F-R_S]+(1-\alpha)(R_F-C_F)=R_F-C_F-\alpha R_S \quad \text{公式(4)}$$

采用“不仿冒”策略的适应度为：

$$U_{2F}=0 \quad \text{公式(5)}$$

平均适应度为：

$$\overline{U_F}=\beta U_{1F}+(1-\beta)U_{1F}=-\alpha\beta R_S+\beta(R_F-C_F) \quad \text{公式(6)}$$

2.2.2 原创主体群体选择“维权”比例的复制动态方程　由公式1-公式3构造原创主体群体“维权”比例的复制动态方程如下：

$$F(\alpha)=\frac{d\alpha}{dt}=\alpha(U_{10}-\overline{U_O})=\alpha(1-\alpha)[\beta R_S-C_S] \quad \text{公式(7)}$$

若 $\beta=\frac{C_S}{R_S}$，则 $F(\alpha)=0$，可以看到，该种情况下所有水平都是稳定状态；若 $\beta\neq\frac{C_S}{R_S}$，则由 $F(\alpha)=0$，可以得到 $\alpha=0$，$\alpha=1$ 是 α 的两个稳定状态。对 $F(\alpha)$ 关于 α 求导可得：

$$F(\alpha)=\frac{dF(\alpha)}{d\alpha}=(1-2\alpha)[\beta R_S-C_S] \quad \text{公式(8)}$$

演化稳定策略要求 $F'(\alpha)<0$[17]，所以需要对 βR_S-C_S 的不同情况进行分析：

(1)若 $\beta R_S-C_S<0$，即 $\beta<\frac{C_S}{R_S}$，则 $\alpha=0$ 是演化稳定策略；

(2)若 $\beta R_S-C_S>0$，即 $\beta>\frac{C_S}{R_S}$，则 $\alpha=1$ 是演化稳定策略。

2.2.3 仿冒主体群体选择“仿冒”比例的复制动态方程　由式4-式6构造仿冒主体选择“仿冒”比例的复制动态方程如下：

$$F(\beta)=\frac{d\beta}{dt}=\beta(U_{1F}-\overline{U_F})=\beta(1-\beta)[R_F-C_F-\alpha R_S] \quad \text{公式(9)}$$

若 $\alpha=\frac{R_F-C_F}{R_S}$，则 $F(\beta)=0$，可以看到，该种情况下所有水平都是稳定状态；若 $\alpha\neq\frac{R_F-C_F}{R_S}$，则由 $F(\beta)=0$，可以得到 $\beta=0$，$\beta=1$ 是 β 的两个稳定状态。对 $F(\beta)$ 关于 β 求导可得：

$$F'(\beta)=\frac{dF(\beta)}{d\beta}=(1-2\beta)[R_F-C_F-\alpha R_S] \quad \text{公式(10)}$$

演化稳定策略要求 $F'(\beta)<0$，对 $R_F-C_F-\alpha R_S$ 的不同情况进行分析：

(1)若 $R_F-C_F-\alpha R_S<0$，即 $\alpha>\frac{R_F-C_F}{R_S}$，则 $\beta=0$ 是演化稳定策略；

(2)若 $R_F - C_F - \alpha R_S > 0$,即 $\alpha < \frac{R_F - C_F}{R_S}$,则 $\beta = 1$ 是演化稳定策略。

综上所述,该演化博弈的平衡点有(0,0)、(0,1)、(1,0)、(1,1)、(α_0, β_0),其中,$\alpha_0 = \frac{R_F - C_F}{R_S}$,$\beta_0 = \frac{C_S}{R_S}$。由以上分析可知,在 $\alpha_0 \in (0,1)$,$\beta_0 \in (0,1)$ 的平面内,原创主体和仿冒主体两群体的演化博弈相位图如图 1 所示:

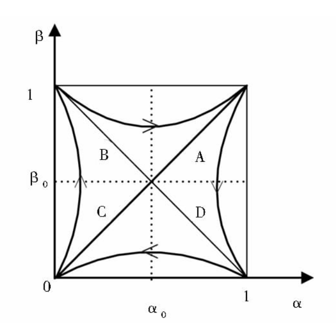


图 1 原创主体群体与仿冒主体群体的演化博弈轨迹示意

由收益矩阵知,该演化博弈为非对称复制动态演化博弈。由图 1 可知,博弈主体选择不同的初始状态,会得到不同的稳定策略。

2.3 演化博弈的稳定策略分析

对原创主体而言,若维权成本 C_S 大于维权收益 R_S,则 $\alpha = 0$ 是演化稳定策略,即不管一开始仿冒群体存在多大的"仿冒"比例,只要原创主体的维权成本大于维权收益,原创群体的策略选择均会向"不维权"方向演化。这是因为作为理性的"经济人",收益的损失导致其缺乏维权的内在动力,因此会对违法仿冒行为听之任之、不闻不问;若维权成本 C_S 小于维权收益 R_S,即 $0 < \beta_0 < 1$,结合图 1 可知,原创群体的策略演化方向分为两种情况:①当仿冒群体采取"仿冒"策略的比例 β 小于某一特定值 β_0 时,原创主体最终将选择"不维权"。②当仿冒群体采取"仿冒"策略的比例 β 大于该特定值 β_0 时,创主体最终将选择"维权"。这里的 β_0 即为原创主体所能容忍的仿冒群体比例,即为仿冒水平容忍度。可作如下解释:若存在较大比例的仿冒主体时($\beta > \beta_0$),原创主体为维护自身版权利益以及市场份额,增加了监管与维权的积极性,会逐渐向"维权"策略演化;若仿冒主体的比例较小时($\beta < \beta_0$),原创主体获取的补偿收益较小,缺乏内在动力,又考虑到借助仿冒行为扩大产品宣传等因素,会逐渐向"不维权"策略演化。

对仿冒主体而言,若仿冒主体的营业收益(仿冒产品收益 R_F 与仿冒产品制造成本 C_F 之差)大于其被追究仿冒行为的罚款 R_S 时,则 $\beta = 1$ 是演化稳定策略,即不管一开始原创群体存在多大的"维权"比例,仿冒主体只要有利可图,便会向"仿冒"策略演化;若仿冒产品收益 R_F 小于仿冒产品制造成本 C_F,则 $\beta = 0$ 是演化稳定策略,即不管一开始原创群体存在多大的"维权"比例,仿冒主体只要无利可图,便会向"不仿冒"策略演化;若仿冒主体的营业收益小于其被追究仿冒行为的罚款 R_S 时,仿冒主体存在一种侥幸心理,此时策略演化方向分两种情况:①在原创群体监管与维权比例较小时($\alpha < \alpha_0$),仿冒主体抱有不会被发现的心理,尚会选择"仿冒"策略;在原创主体监管与维权比例较大时($\alpha > \alpha_0$),仿冒行为被施以惩罚的概率升高,仿冒主体的侥幸心理破灭,会逐渐向"不仿冒"策略演化。

2.4 演化路径仿真分析

根据以上分析,结合参数的不同取值范围,运用数值算例可以仿真出不同情况下的均衡路径,进而可得博弈系统的演化路径及规制方向。首先,根据原创主体和仿冒主体的复制动态方程,进行微分方程的求解,可以分别求得原创主体和仿冒主体的选择策略占比随时间变化的公式。

原创主体的"维权"策略占比:$\alpha = \frac{e^{(\beta R_S - C_S)t}}{1 + e^{(\beta R_S - C_S)t}}$

公式(11)

仿冒主体的"仿冒"策略占比:$\beta = \frac{e^{(R_F - C_F - \alpha R_S)t}}{1 + e^{(R_F - C_F - \alpha R_S)t}}$

公式(12)

然后,通过仿真分析,发现 α 和 β 的具体取值,并不影响形成演化稳定策略,只是达到稳定状态的时间存在差异。因此,以下根据不同情况对参数进行赋值,仿真得到如下均衡状态:

(1)当 $C_S > R_S$,且 $R_F > C_F$ 时,演化稳定策略为(0,0)。仿真结果如图 2 所示,这时仿冒主体由于技术障碍,仿造原创产品的成本高于其获取的收益,原创主体由于缺乏人力、物力、财力等,尚无精力建立健全的监管与维权渠道,导致监管与维权的成本高于其获取的赔偿,博弈双方都是得不偿失。因此,双方会选择(不维权,不仿冒)策略。

(2)当 $C_S > R_S$,且 $R_F - C_F > R_S$ 时,演化稳定策略为(0,1)。仿真结果如图 3 所示,随着仿冒主体不断突破技术障碍,仿冒产品的制造成本不断降低,使得仿冒产品有利可图,其仿造产品的净利润甚至高于被追究责任时的罚款损失,促使仿冒主体逐渐向"仿冒"策略

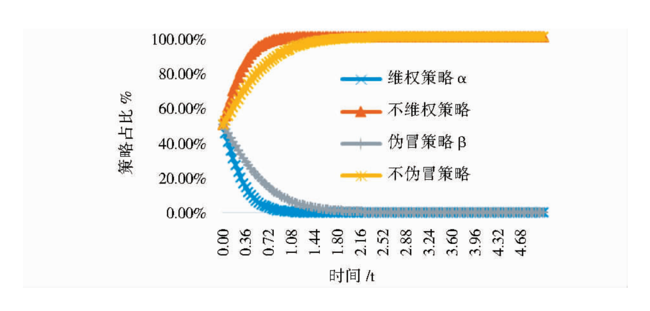


图 2　系统演化稳定策略为(0,0)的仿真结果

注:该情况下,取 $\alpha=0.3$ 、$\beta=0.2$ 、$C_S=6$ 、$R_S=5$ 、$R_F=5$ 、$C_F=6$

演化,而此时原创主体应该致力于产品研发与推广,无暇顾及仿冒行为。因此,博弈双方会选择(不维权,仿冒)策略。

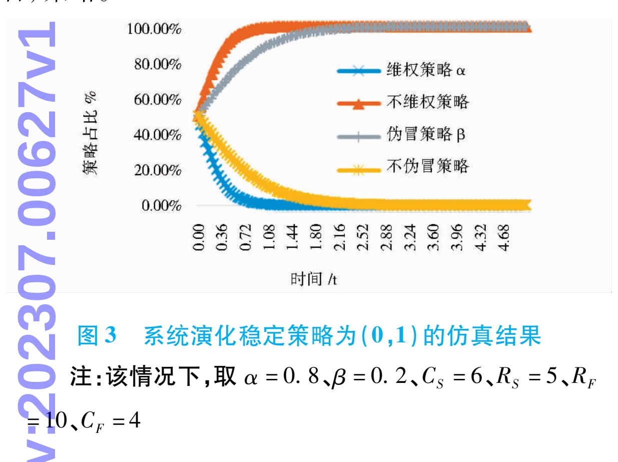


图 3　系统演化稳定策略为(0,1)的仿真结果

注:该情况下,取 $\alpha=0.8$ 、$\beta=0.2$ 、$C_S=6$ 、$R_S=5$ 、$R_F=10$ 、$C_F=4$

(3)当 $0<C_S<R_S$,且 $0<R_F-C_F<R_S$ 时,演化稳定策略会因博弈双方不同的策略选择比例而不同,具体的演化路径如表 3 所示:

表 3　不同策略选择比例下的演化稳定策略

状态区域	参数条件	稳定策略	规制手段
C	$\alpha<\alpha_0,\ \beta<\beta_0$	(0,1)	$R_F\uparrow C_F\downarrow$
B	$\alpha<\alpha_0,\beta>\beta_0$	(1,1)	$R_S\uparrow C_S\uparrow R_F\downarrow$
A	$\alpha>\alpha_0,\ \beta>\beta_0$	(1,0)	$R_F\downarrow R_S\uparrow$
D	$\alpha>\alpha_0,\beta<\beta_0$	(0,0)	/

不同参数条件下的演化稳定策略仿真结果见图 4(a)－4(d),共同取值参数为:$C_S=4$ 、$R_S=8$ 、$R_F=8$ 、$C_F=4$。

当博弈落在 C 区域时,仿冒主体采取“仿冒”策略的比例较小,可以理解为市场上存在零星几个,仿冒技术尚不成熟,很难打开市场,原创主体尚未建立监管与维权体系,对市场上的仿冒行为采取容忍态度,从而导致仿冒主体更加肆无忌惮,此时博弈向(0,1)方向演化;随着原创主体对仿冒行为的不断容忍,仿冒主体不断探索仿造技术,降低产品的仿造成本,提高仿造产品

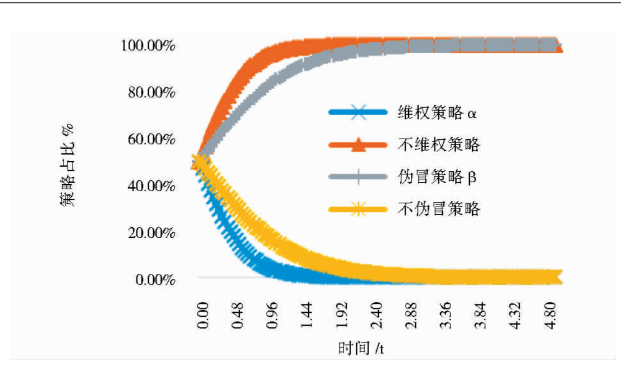


图 4(a)　演化稳定策略为(0,1)的仿真结果

注:该情况下,取 $\alpha=0.3$ 、$\beta=0.1$

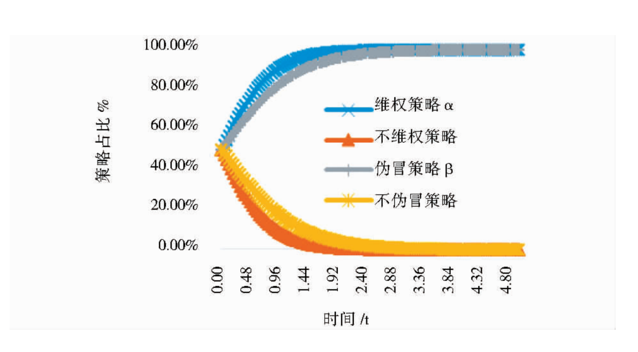


图 4(b)　演化稳定策略为(1,1)的仿真结果

注:该情况下,取 $\alpha=0.3$ 、$\beta=0.8$

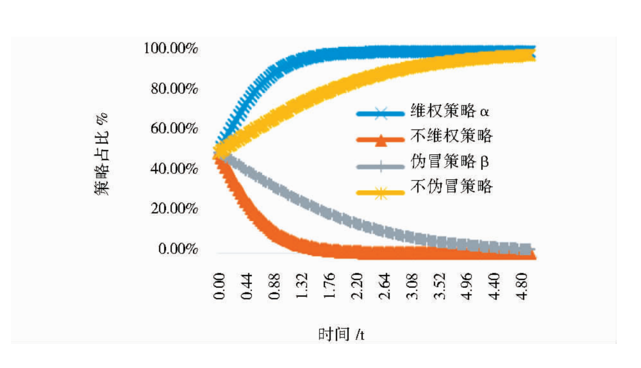


图 4(c)　演化稳定策略为(1,0)的仿真结果

注:该情况下,取 $\alpha=0.6$ 、$\beta=0.8$

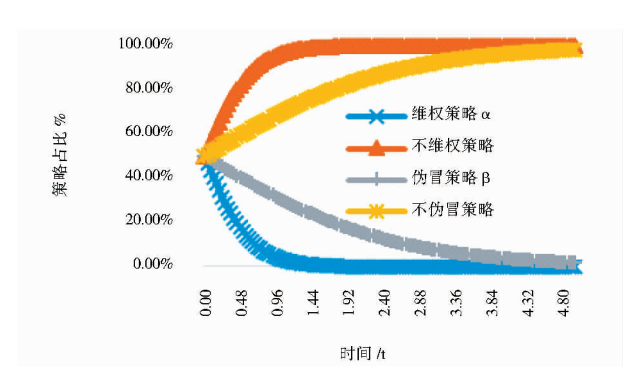


图 4(d)　演化稳定策略为(0,0)的仿真结果

注:该情况下,取 $\alpha=0.6$ 、$\beta=0.1$

在市场中的流通量,从而不断提高产品收益,博弈落在

B区域，原创主体的利益受到较大威胁，必须采取严厉的监管与维权措施以遏制仿冒行为。此时博弈向(1,1)方向演化；过高的仿冒主体比例严重扰乱了市场秩序，不断增长的仿冒主体收益，侵占了大量市场份额，原创主体的监管与维权比例逐渐增大，博弈落在A区域，此时原创主体高度重视监管与维权措施，一方面建立高效的监管渠道，降低维权成本，另一方面对仿冒行为零容忍，施以较高的赔偿惩罚，博弈双方从针锋相对的状态逐渐向(1,0)方向演化；随着原创主体不断增加监管与维权比例，仿冒行为难逃法律责任，过高的赔偿惩罚使得仿冒主体收益不断降低，甚至为负，仿冒主体逐渐被市场淘汰，博弈落在D区域，此时市场上仿冒主体较少，原创主体监管成本没有罚款收益作为补偿，因此会逐渐放松监管，随着市场秩序的不断规范，原创主体无需过分关注监管与维权，市场上再无仿冒行为，博弈向(0,0)方向演化。

2.5 演化博弈的结论分析

对原创主体与仿冒主体的系统演化稳定策略进行分析，可以得到以下结论：

(1)利益是驱使博弈双方策略选择的主要因素。由博弈演化路径仿真分析图2可知，当博弈双方选择某一策略的成本大于收益时，便会放弃该策略，只有收益大于成本时才会选择该策略。该结论亦符合有限理性的"经济人"假设。

(2)当仿冒水平较小时，原创主体对仿冒行为存在一定的容忍度。由博弈演化路径仿真分析图3，以及图4(a)可知，当存在仿冒行为的比例较小时，原创主体会对仿冒主体放松监管。客观原因是仿冒技术不成熟，难以对原创产品构成较大威胁，且较低的仿冒水平可以在一定程度对原创主体起到品牌宣传的作用；主观原因是原创主体监管初期成本投入较大，此时仿冒水平较低，依靠追究仿冒责任获取的赔偿难以抵付成本，缺乏监管的积极性。

(3)当仿冒水平较大时，原创主体与仿冒主体呈现一种"此进彼退"的状态。由博弈演化路径仿真分析图4(b)-4(d)可知，随着仿冒水平的不断加大，原创主体从长远利益考虑，会逐步加大监管与维权力度，直至对仿冒行为零容忍。随着监管水平的不断提高，仿冒行为被追责的概率不断增大，并逐渐趋近于1，过高的惩罚使仿冒主体不得不停止仿冒，最终退出市场。

总之，不同的群体策略选择比例会对应不同的初始状态，进而又会有不同的演化稳定策略，随着群体策略的不断改变，演化稳定策略也不断改变。这也是市场机制自身发生作用的调节结果。

3 原创主体对仿冒水平容忍度的分析

演化博弈的结论验证了原创主体对仿冒行为存在一定的容忍度，为探究原创主体应综合考虑哪些因素来把握该容忍度水平，分别构建原创主体和仿冒主体的细化利润函数模型，具体分析原创主体的行为特征。

3.1 利润函数模型的参数设定

C_F 为仿冒主体的研发成本，不失一般性，在产品研发领域，研发成本可用如下模型表示：$C_F=\frac{1}{2}\gamma\sigma^2$，$\gamma>0$决定了产品研发的成本系数($\gamma$越高，盈利能力越低)[18]，$\sigma>0$，为仿冒主体的投资成本，代表了原创主体所能容忍的仿冒努力水平(σ越高，仿冒水平越高)。

R_F 为仿冒主体的产品收益，参考陈真玲等[19]的文献，产品收益模型为：$R_F=\tau\ln\sigma$，τ为常系数。收益模型表明，仿冒主体的产品收益与其努力水平正相关，但不会一直增大，因此用对数函数表示。该收益函数的设置体现了数字产品收益的独特特征，与非数字产品常见的数量价格收益函数截然不同。

C_O 为原创主体的研发成本，$k\sigma$ 为原创主体的投资成本，$k>1$，表示原创主体的努力水平是仿冒主体的倍数，且一定比仿冒主体大，原创主体的研发成本为：$C_O=\frac{k^2}{2}\gamma\sigma^2$。

R_O 为原创主体的产品收益，同仿冒主体类似，$R_O=\tau\ln(k\sigma)$。

δ 为原创主体的交叉收益系数，δR_F 为原创主体的交叉收益，即由仿冒行为带来的品牌宣传等收益与被其侵占的产品市场份额损失的净值，也是原创主体由于容忍一定水平的仿冒行为所带来的产品交叉收益。$\delta>0$，表示交叉净收益系数为正，只有在此情况下原创主体才会对仿冒行为存在一定的容忍度。

在仿冒水平可容忍的范围内，原创主体不会采取"维权"策略，因此这里不考虑赔偿问题。

π_O 表示原创主体的利润函数，π_F 表示仿冒主体的利润函数，具体表达式如下：

$$\pi_F=\tau\ln\sigma-\frac{1}{2}\gamma\sigma^2 \qquad \text{公式(13)}$$

$$\pi_O=\tau\ln(k\sigma)-\frac{k^2}{2}\gamma\sigma^2+\delta\tau\ln\sigma \qquad \text{公式(14)}$$

3.2 利润函数模型的求解

在此情况下，仿冒主体与原创主体相当于一种合作的关系，仿冒主体越努力，带给原创主体的交叉收益

越大,因此,原创主体的利润函数依赖于仿冒主体,只有在仿冒主体合作的情况下,原创主体才能取得利润的最大值。所以首先对仿冒主体求解利润最大化条件,使一阶条件:$\frac{\partial \pi_F}{\partial \sigma}=0$,即满足:$\frac{\partial \pi_F}{\partial \sigma}=\frac{\tau}{\sigma}-\gamma\sigma=0$,由于 $\sigma>0$,解得:$\sigma_1^*=\left(\frac{\tau}{\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}$。由此可得仿冒主体的努力水平范围:$\sigma_1 \in \left(0,\left(\frac{\tau}{\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}\right)$。

然后求解原创主体的利润最大化条件,使一阶条件:$\frac{\partial \pi_O}{\partial \sigma}=0$,即满足:$\frac{\partial \pi_O}{\partial \sigma}=\frac{\tau}{\sigma}-k^2\gamma\sigma+\frac{\partial \tau}{\sigma}=0$,由于 $\sigma>0$,解得:$\sigma_2^*=\left(\frac{(1+\delta)\tau}{k^2\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}$。由此可得仿冒主体的努力水平范围:$\sigma_2 \in \left(0,\left(\frac{(1+\delta)\tau}{k^2\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}\right)$。

在仿冒主体的利润达到最大值以前,其会愈加努力,以追求更大的利润,一旦达到最大值,其便选择停止追加努力,放弃与原创主体合作。因此,原创主体的最大化利润条件依赖于仿冒主体,需满足 $\sigma_2<\sigma_1$。因此,原创主体的最大化利润如下所示:

当 $0<\frac{1+\delta}{k^2}\leqslant 1$ 时,$\max_{\sigma=\sigma_2^*}\pi_O=\frac{(1-\delta)\tau}{2}\ln\left(\frac{(1+\delta)\tau}{\gamma}\right)+\delta\tau\ln k-\frac{(1+\delta)\tau}{2}$

当 $\frac{1+\delta}{k^2}>1$ 时,$\max_{\sigma=\sigma_1^*}\pi_O=\frac{(1+\delta)\tau}{2}\ln\left(\frac{\tau}{\gamma}\right)+\tau\ln k-\frac{k^2\tau}{2}$。

3.3 容忍度水平分析

由 3.2 分析可知,当 $0<\frac{1+\delta}{k^2}\leqslant 1$ 时,原创主体所能容忍的最大仿冒水平为 $\left(\frac{(1+\delta)\tau}{k^2\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}$;当 $\frac{1+\delta}{k^2}>1$ 时,原创主体所能容忍的最大仿冒水平为 $\left(\frac{\tau}{\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}$。以下通过算例仿真分析来讨论原创主体利润函数随仿冒水平变化的趋势图。

算例分析:假定数字内容产品的研发成本系数为 $\gamma=1$,收益模型的常系数 $\tau=4$,原创主体相比仿冒主体的努力倍数 $k=3$。①情形一:交叉收益系数 $\delta=5$;②情形二:交叉收益系数 $\delta=10$;③情形三:交叉收益系数 $\delta=20$;④情形四:交叉收益系数 $\delta=50$;⑤情形五:交叉收益系数 $\delta=100$。仿真结果见图 5。

由图 5 的仿真结果可以直观看出,原创主体的利润会随着仿冒水平的增大而先增大后减小,中间存在一个极值点,该点对应的仿冒水平即为原创主体所能容忍的最大仿冒水平。另外,当其他参数值给定时,原创主体的利润会随着交叉收益系数 δ 的增大而先减小后增大,可容忍的最大仿冒水平 σ^* 也会随着交叉收益系数 δ 的增大而增大。运用同样的仿真方法,可以验证可容忍的仿冒水平 σ^* 与其他参数之间的增减变化关系如表 4 所:

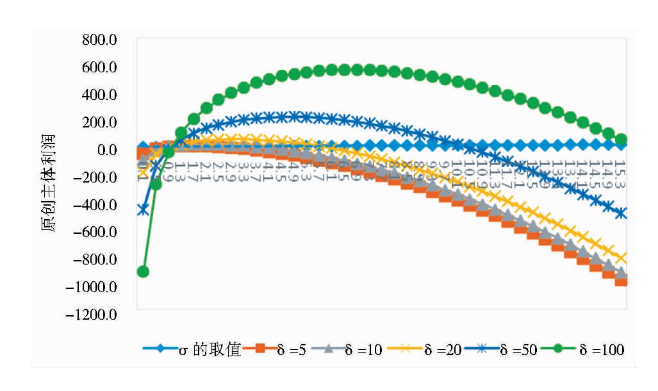


图 5 原创主体利润函数随仿冒水平变化的仿真结果

表 4 可容忍的仿冒水平 σ^* 与其他参数之间的增减变化关系

其他参数变化	可容忍的最大仿冒水平 σ^* 变化	原创主体利润
δ 增大	σ^* 增大	π_O 先减小后增大
τ 增大	σ^* 增大	π_O 先减小后增大
k 增大	σ^* 减小	π_O 先增大后减小
γ 增大	σ^* 减小	π_O 减小

因此,在数字内容产品市场中,原创主体可以根据市场情况,适当采取一定的容忍度策略,在约束仿冒主体行为的同时,又能提高自身利润。具体情况分析如下:

(1)随着仿冒交叉收益系数 δ 和收益模型常系数 τ 的不断增大,原创主体最大仿冒水平容忍度也不断增大。收益模型常系数不断增大,数字内容产品的利润率不断增高,少部分的市场份额流失不会引起原创主体过分关注;随着仿冒交叉收益系数的不断增大,仿冒主体所带来的收益增量大于其带来的损失,原创主体反而会鼓励仿冒主体努力开拓市场。因此,最大仿冒水平容忍度也会不断增大。

(2)随着产品研发成本系数 γ 的不断增大,原创主体最大仿冒水平容忍度不断减小。数字内容产品研发成本系数不断增大,说明原创主体研发内容产品的成本变化率较大,由此导致盈利能力变小,若仿冒主体再削减一部分市场份额,势必会令原创主体利润减少。

因此,原创主体应采取较低的仿冒水平容忍度。

(3)随着原创主体的产品研发努力水平倍数 k 的不断增大,原创主体最大仿冒水平容忍度不断减小。研发努力水平倍数不断增大,说明原创主体具有先进的技术手段,由此给仿冒主体造成较高的技术壁垒,原创主体由技术进步带来的收益逐步增大。因此,会对仿冒行为极度敏感,最大仿冒水平容忍度越来越小。

4 结论

本文利用演化博弈模型对数字内容产品版权保护制度的相关利益主体进行分析,得到如下结论:①数字内容产品的原创主体和仿冒主体均为受利益驱使的有限理性"经济人"。博弈双方的所有策略选择均依赖于收益大于成本这一前提条件;②在博弈过程中,综合考虑主客观因素,原创主体会对较小的仿冒水平存在一定的容忍度;③当仿冒水平较高时,原创主体会逐渐加大监管与维权力度,直至将仿冒主体驱逐出市场。总之,不同的初始状态选择比例,会促进博弈过程演化出不同的稳定策略,这也是市场机制本身的运作过程。

为了进一步探究原创主体如何把握仿冒水平容忍度问题,构建了原创主体和仿冒主体的细化利润函数模型,通过模型求解和仿真分析表明:①原创主体的仿冒水平容忍度受仿冒交叉收益系数 δ、收益模型常系数 τ、产品研发成本系数 γ 和原创主体的产品研发努力水平倍数 k 4 个因素共同影响。②当 $0 < \frac{1+\delta}{k^2} \leqslant 1$ 时,原创主体所能容忍的最大仿冒水平为 $\left(\frac{(1+\delta)\tau}{k^2\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}$;当 $\frac{1+\delta}{k^2} > 1$ 时,原创主体所能容忍的最大仿冒水平为 $\left(\frac{\tau}{\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}$。该结论为原创主体合理把握一定程度的仿冒水平容忍度,及时采取版权保护制度维护自身合法权益,规范数字内容产品市场主体行为,提供了一定的理论借鉴。

参考文献:

[1] BOCKSTEDT J, KAUFFMAN R J, RIGGINS F J. The move to artist-led music distribution: explaining market structure changes in the digital music market [J]. International journal of electronic commerce, 2006, 10(3):7-38.

[2] 宋培义,曹树花,孙江华. 数字媒体内容资产的版权定价方法研究[J]. 价格理论与实践, 2014(10): 111-113.

[3] LOWRY P B, ZHANG J, WU T. Nature or nurture? A meta-analysis of the factors that maximize the prediction of digital piracy by using social cognitive theory as a framework [J]. Computers in human behavior, 2017, 68(3):104-120.

[4] ACKEN J M. How watermarking adds value to digital content. [J]. Communications of the Acm, 1998, 41(7): 74-77.

[5] 于广州. 数字图像内容保护下双重隐形数字水印仿真[J]. 计算机仿真, 2018,35(2):388-391.

[6] ZHANG L H, XIAO-LI M I, YANG C, et al. Watermark-based mobile digital content right management scheme[J]. Application research of computers, 2007,24(3):125-127.

[7] BAUSE T, NG S. Multi-channel digital content watermark system and method: US, US 20120300971 A1 [P]. 2012.

[8] CHIA Y T. Digital rights management system and method for protecting digital content:US, US 20120303967 A1 [P]. 2012.

[9] WANG M S. Secure data storage for protecting digital content: US, US 8452988 B2 [P]. 2013.

[10] CHOU C Y, CHOU P Y, LIN Y C. Digital content and right object management systems and methods: US, US 20120042173 A1 [P]. 2012.

[11] CHANG M S, PARK S H, LEE Y S. Method and apparatus for protecting digital content using device authentication: WO, US9122879[P]. 2015.

[12] 熊励,陈朋. 版权管理下数字内容用户行为分析与仿真研究[J]. 科研管理,2014,35(12): 168-174.

[13] PARK K J. A study on effects of relative benefits and costs of piracy of digital contents on attitudes and behaviors of illegal duplication [J]. Journal of the Korea contents association, 2015, 15(7): 489-499.

[14] GUO L, MENG X. Digital content provision and optimal copyright protection [J]. Management science, 2015, 61(5):108-112.

[15] 张旭梅,邓流生,丁雪峰. 盗版:厂商的质量选择与政府的反盗版政策[J]. 系统工程理论与实践, 2013,33(7): 1782-1790.

[16] 李北伟, 董微微, 富金鑫. 基于演化博弈理论的网络信息生态链研究[J]. 图书情报工作, 2012, 56(22):102-106.

[17] FRIEDMAN D. Evolutionary Games in Economics [J]. Econometrica, 1991, 59(3):637-666.

[18] MOLTO M J G, GEORGANTZIS N, ORTS V. Cooperative R&D with endogenous technology differentiation [J]. Journal of economics & management strategy, 2010, 14(2):461-476.

[19] 陈真玲,王文举. 环境税制下政府与污染企业演化博弈分析[J]. 管理评论, 2017, 29(5): 226-236.

作者贡献说明:

赵艳:提出研究思路和论文框架,收集并整理资料,撰写论文并修改;

王文举:指导研究模型构建,指导论文撰写;

倪渊:确定研究思路和论文框架,提出修改意见。

赵艳，王文举，倪渊.数字内容产品版权保护的演化博弈分析[J].图书情报工作,2019,63(2):43－51.

Evolutionary Game Analysis of Copyright Protection of Digital Content Products

Zhao Yan[1]　Wang Wenju[2]　Ni Yuan[3,4]
[1] School of Economics, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070
[2] School of Economics, Beijing Wuzi University, Beijing 101149
[3] School of Economics and Management, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100192
[4] Laboratory of Bid Data Decision making for Green Development, Beijing 100192

Abstract: [**Purpose/significance**] Based on the evolutionary game analysis of copyright protection, it is helpful to explore whether the original subject of digital content products has tolerance to counterfeiting behavior, and to explore the strategic choice of implementing copyright protection under different counterfeit levels. It has certain guiding significance for regulating the behavior of market participants in digital content products. [**Method/process**] Firstly, the evolutionary game model was used to analyze the interest evolution process of original subject and counterfeit subject, and to explore the tolerance of original subject to counterfeiting under copyright protection. Then, by refining the profit function model of both sides of the game, the determinants of the tolerance level of the original subject were explored. [**Result/conclusion**] The original subject has a certain degree tolerance for the lower level of counterfeiting and zero tolerance for the higher level of counterfeiting. The maximum counterfeit level tolerance is determined by four factors: the counterfeit cross profit coefficient, the income model constant coefficient, the product R&D cost coefficient and the product R&D effort multiples.

Keywords: digital content products　copyright protection　counterfeit level tolerance　evolutionary game